



Proposition d'un sujet de thèse au LHEEA, Ecole Centrale Nantes

## **Développement d'un schéma Smoothed Particle Hydrodynamics incompressible (ISPH) multiphasique - Introduction d'un modèle de changement de phase**

Contacts : GUILLAUME OGER – [guillaume.oger@ec-nantes.fr](mailto:guillaume.oger@ec-nantes.fr)

### **Contexte**

L'Ecole Centrale de Nantes compte différents laboratoires s'adressant, entre autres, aux sciences pour l'ingénieur. Parmi ces laboratoires, le LHEEA (Laboratoire de recherche en Hydrodynamique Energétique et Environnement Atmosphérique) spécialisé en mécanique des fluides numérique et expérimentale s'investit depuis de nombreuses années dans l'étude des écoulements complexes à surface libre. Parmi les différents outils numériques abordés, la méthode SPH [1][2][3] forme un sujet de recherche pour lequel le LHEEA a acquis une notoriété internationale très bien établie.

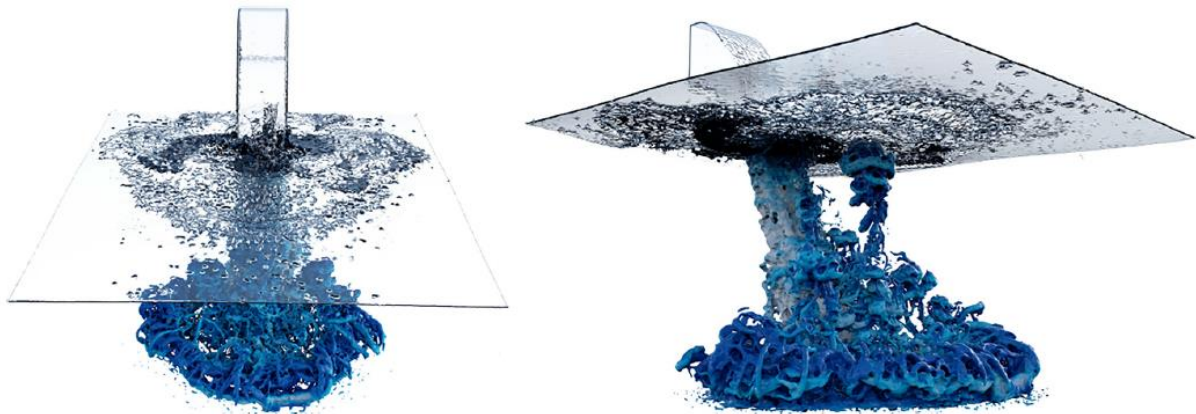
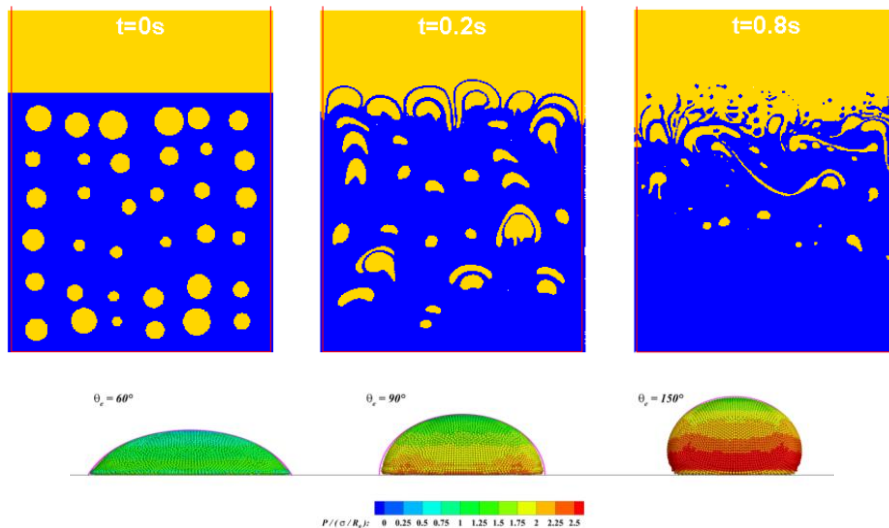
Proposée en 1977 pour l'astrophysique et adaptée pour la première fois à la simulation d'écoulements à surface libre en 1994 [4], la méthode SPH a pour particularité d'être sans maillage, particulière et Lagrangienne, appuyant ses interpolations spatiales sur l'utilisation de noyaux de convolutions.

Initialement fondée sur une approche faiblement compressible explicite, elle permet d'envisager des calculs massivement parallèles et de résoudre des problèmes complexes en tirant parti des architectures de calcul actuelles [5]. En particulier, l'absence de grille sous-jacente permet des simulations faisant intervenir de fortes déformations d'interfaces fluides, possiblement avec déconnexions/reconnexions d'interfaces, et en interactions couplées avec des géométries complexes déformables, simulations difficilement réalisables avec des méthodes maillées.

S'agissant du cas particulier des écoulements impliquant plusieurs phases (ex : liquide-vapeur) ou plus simplement plusieurs liquides non-miscibles, le caractère particulier Lagrangien et sans maillage de la méthode SPH lui confère l'avantage d'empêcher toute diffusion de l'interface, à chaque particule étant affectée une espèce exclusivement, et ce pour toute la durée de la simulation.

Différents modèles diphasiques ont déjà été implémentés avec succès en formalisme explicite faiblement compressible [7][8]. Cependant, le caractère explicite faiblement compressible du schéma impose, via une condition CFL basée sur l'acoustique au sein des fluides, des pas de temps très petits et responsables de temps de calculs élevés voire prohibitifs.

Par ailleurs, la méthode SPH semble présenter un fort potentiel pour la simulation d'écoulements en présence de changement de phase [9]. Néanmoins, de tels modèles demeurent encore aujourd'hui relativement rares dans la littérature dédiée.



*Exemples de simulations SPH. Haut : simulation d'un séparateur eau-huile simplifié [7]. Milieu : Gouttes d'eau en configuration statique pour différents angles de contact [11]. Bas : simulation SPH diphasique de la fontaine turbulente de de Vinci [12].*

## Objectifs – Contenu scientifique

Cette thèse s'inscrit d'une part dans l'incorporation d'un modèle multi-fluide au sein d'un schéma incompressible SPH (ISPH) préexistant, et d'autre part de proposer un modèle de changement de phase incompressible [10], avec prise en compte de la tension de surface.

Ces travaux de recherches s'articulent autour de trois axes :

### Axe 1: Développement d'un schéma multiphasique incompressible ISPH

Cet axe s'inscrit dans le prolongement de travaux de recherche préliminaires relatifs à un schéma implicite incompressible SPH (ISPH). Ici, un modèle multi-fluide précis et efficace sera implémenté, d'abord pour des liquides non-miscibles, puis pour des cas liquide-gaz (ratio de densité de l'ordre de 1000 comme pour les cas air-eau par exemple). Une attention particulière sera également portée à l'adaptation de ce schéma à une technique de raffinement adaptative (APR) [6].

### Axe 2: Modèle de tension de surface au sein du schéma ISPH monophasique et multiphasique

Des efforts de recherche importants ont été récemment menés au LHEEA pour améliorer la précision, la robustesse et l'efficacité du modèle de tension superficielle dans SPH [11]. Ces travaux s'appuient

sur la méthode Continuous Surface Force (CSF) basée sur une description volumique des effets de tension de surface. Cependant, ces travaux ont été adressés plus particulièrement pour le cas monophasique, et dans le cadre de la formulation explicite faiblement compressible.

Cet axe est consacré à la poursuite de ces travaux tout en :

- adaptant le modèle de tension superficielle aux cas multiphasiques
- dans le cadre du schéma implicite incompressible ISPH

### **Axe 3: Modèle de changement de phase**

Ce dernier axe, plus ambitieux encore, vise l'implémentation d'un modèle de changement de phase au sein du schéma incompressible SPH développé dans l'Axe 1. En premier lieu, en puisant dans la littérature, un état de l'art le plus exhaustif possible des techniques de changement de phase adaptés à différents schémas CFD sera réalisé.

### **Bibliographie**

- [1] G. Oger, M. Doring, B. Alessandrini and P. Ferrant, Two-Dimensional SPH Simulations of Wedge Water Entries. *Journal of Computational Physics*, vol. 213, pp. 803-822, 2007.
- [2] G. Oger, S. Marrone, D. Le Touzé, M. de Leffe, SPH accuracy improvement through the combination of a quasi-Lagrangian shifting transport velocity and consistent ALE formalisms, *Journal of Computational Physics*, vol. 313, pp.76-98, 2016.
- [3] G. Fourey, C. Hermange, D. Le Touzé, G. Oger, An efficient FSI coupling strategy between Smoothed Particle Hydrodynamics and Finite Element methods, *Computer Physics Communications*, vol. 217, pp. 66-81, 2017.
- [4] J.J. Monaghan, Simulating free surface flows with SPH, *Journal of Computational Physics*, 110, 399-406, 1994.
- [5] G. Oger, D. Le Touzé, D. Guibert, M. de Leffe, J. Biddiscombe, J. Soumagne, J.-G. Piccinalli, On Distributed Memory MPI-based Parallelization of SPH Codes in Massive HPC Context, *Computer Physics Communications*, vol. 200, pp.1-14, 2016.
- [6] L. Chiron, G. Oger, M. De Leffe, D. Le Touzé, Analysis and improvements of Adaptive Particle Refinement (APR) through CPU time, accuracy and robustness considerations, *Journal of Computational Physics*, vol. 354, pp. 552-575, 2018.
- [7] N. Grenier, M. Antuono, A. Colagrossi, D. Le Touzé, B. Alessandrini, An Hamiltonian interface SPH formulation for multi-fluid and free surface flows, *Journal of Computational Physics*, 228, 8380-8393, 2009.
- [8] I. Hammani, S. Marrone, A. Colagrossi, G. Oger, D. Le Touzé, Detailed study on the extension of the  $\delta$ -SPH model to multi-phase flow, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 368, pp. 113189, 2020.
- [9] A.K. Das, P.K. Das, Modeling of liquid–vapor phase change using smoothed particle hydrodynamics, *Journal of Computational Physics*, 303, 125-145, 2015.
- [10] F. Gibou, L. Chen, D. Nguyen, S. Banerjee, A level set based sharp interface method for the multiphase incompressible Navier–Stokes equations with phase change, *Journal of Computational Physics*, 222, 536-555, 2007.
- [11] A. Vergnaud, G. Oger, D. Le Touzé, M. De Leffe, L. Chiron, C-CSF: Accurate, robust and efficient surface tension and contact angle models for single-phase flows using SPH, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 389, pp. 114292, 2022.

[12] A. Colagrossi, S. Marrone, P. Colagrossi, D. Le Touzé, Da Vinci's observation of turbulence: A French-Italian study aiming at numerically reproducing the physics behind one of his drawings, 500 years later Editor's Pick, *Physics of Fluids* 33, 2021